

CSILLAG LÁSZLÓ -- TOROCZKAY ZSOLT

EGYSZERŰ DEMOSTRÁCIÓS KÉSZLET FÉNYTANI ALAPKÍSÉRLETEK BEMUTATÁSÁHOZ
(Elhangzott a "Lézerek demonstrációja -- demonstrációk lézerekkel"
c. szimpóziumon 1984. augusztus 25-én Egerben)

Abstract: (A simple demonstration kit for basic optical experiments) A demonstration kit without optical benches, fine adjustment screws and special optical surfaces has been developed, on the basis of applying a He-Ne laser beam which uses only small surfaces and shows always the right alignment. Multi-purpose mechanical elements (dia-holders, mounts etc.), simple glass surfaces and photographically made slits, diaphragms etc. are applied.

The basic phenomena of geometrical optics can be demonstrated on a Hartl-disk placed in a plexi smoke-box, while demonstration of the basic interference and diffraction phenomena can be achieved with the aid of 20 additional simple optical elements (mirrors, slits etc.) placed in standard dia frames. With these elements, among others, the Young and Michelson interference experiments can be shown.

I. A demonstrációhoz használt lézerek

A lézer is elektronmágneses sugárforrás, lényegét tekintve tehát nem különbözik hagyományos fényforrásainktól; sugárzásának jellemzői azonban azokénál lényegesen kedvezőbbek. A lézerekből irányított, keskeny fénynyaláb lép ki, mely monokromatikus, időben és térben koherens, intenzív -- s bizonyos esetekben polarizált. Említésre méltó viszont, hogy e kedvező tulajdonságok az egyes lézertípusoknál és üzemmódoknál igen eltérő mértékben jelentkeznek. Az optikai demonstrációnál jelenleg szinte kizárólag a vörös színű fényt sugárzó, kis teljesítményű, folytonos üzemű hé-

limumneon gázlézereket alkalmazzák. Demonstrációs készletünket mi is ehhez, mégpedig a KFKI által kidolgozott két alaptípushoz terveztük. Ezek fő jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. Táblázat

A KFKI He-Ne lézereinek főbb adatai

Típus	He-Ne 400	He-Ne 1200
Sugárzási hullámhossz (nm)	632,8	
Teljesítmény (mW)	5	30
Nyalábméret $(1)e^2$ pontok között a kimenetnél (mm)	0,74	1,30
Divergencia (mrad)	1,4	0,6
Módusszerkezet	TEM ₀₀	
Axiális módusszám	2-3	15-16
Módustávolság (MHz)	385	125
Oscillációs tartomány (MHz)	1200	1800

A hagyományos fényforrásokkal való összehasonlításnál célszerű a sugárzást a lézernyalábéval azonos térszögre és sávszélességre vonatkoztatni. Így pl. egy kis He-Ne lézer is több nagyságrenddel felülmúlhatja a nagyteljesítményű Hg-lámpát (2. táblázat).

2. Táblázat

Hg-lámpa és He-Ne lézer összehasonlítása

Fényforrás	Hg 546 nm-es vonala	He-Ne 400 lézer
------------	---------------------	-----------------

P	teljesítmény (W)	10	$5 \cdot 10^{-3}$
	sávszélesség (nm)	10^{-1}	10^{-3}
	térszög (steradián)	1	10^{-6}
		10^{-2}	$5 \cdot 10^{-6}$

Érdemes figyelni az 1. Táblázatban arra, hogy a kisebb teljesítményű lézer nyalábátmérője a kilépésnél a nagyobbénak csak kb. a fele, s így teljesítménysűrűsége a lézerhez közel majdnem eléri a nagy lézerét. Ugyanakkor a kis lézer divergenciája kb. kétszer nagyobb, s ezért a lézertől távolodva a nagyénál gyorsabban szélesedik.

Említésre méltó továbbá, hogy tökéletes keresztkoherencia csak térbeli alaplómódus (TEM_{00} haranggörbe-alakú radiális intenzitáseloszlás) esetén várható, az időbeli (hosszirányú) koherenciát pedig a több axiális módus léte, illetve a tényleges működési sávszélesség néhányszor tíz cm-re korlátozza, még a lézer esetén is. (Tovább növelni csak u.n. "egymódusú" lézerrel lehet.)

II. A lézerjellemzők demonstrációs lehetőségei

Az **irányítottság** ill. **keskenység** érzékeltethető azáltal, hogy bemutattjuk a **nyalábméretet** nagyobb távolságban, illetve cigaretta füstön, vagy a levegőben lévő porszemeken fellépő **fényszórás** révén láthatóvá tesszük a fénysugár útját. (Mie-szórás, legerősebben a nyalábhoz képest **kis szögek** alatt látszik!).

A **monokromatikusság** és a nagy relatív intenzitás (spektrális teljesítménysűrűség) Hg-lámpával való spektrum-összehasonlítással mutatható jól meg. (Bontóelem lehet: transzmissziós optikai rács). A **térbeli koherencia** Young-f. kettős diafragmával, a hosszirányú (időbeli) koherencia Michelson interferométerrel érzékeltethető. (Sajnos a lézer hosszirányú módusainak

közvetlen bemutatása egyszerű eszközökkel nem oldható meg: (Fabry-Perot interferométer kell hozzá, üres felületekkel. Az **intenzitás** és a lézer **szemre gyakorolt hatásának** érzékeltetésére 30 mW-os lézerrel bemutatható a gyufagyújtás: kb. 3 cm-es fókusz távolságú lencsével fókuszálva a lézerfényt a befeketített fejű gyufa -- kb. 25 mW lézerteljesítmény felett -- meggyullad. (Foltméret a gyufán 20 m, telj.sűrűség 3 kW/cm²!)

A lineáris **polarizáltság** demonstrációja polarizációs szűrővel, vagy üveglemez reflexiója szögfüggésének bemutatásával (Brewster-törvény) valósítható meg. (Figyelem: az u.n. "belsőtükrös" lézerek fénye általában nem polarizált!)

Említésre méltó végül a He-Ne lézeres demonstráció balesetvédelmi alaptörvénye: **SOHA NE NÉZZÜNK A DIREKT NYALÁBBA!**

III. Az optikai alapjelenségek demonstrációja

Előrebocsájtjuk, hogy hagyományos módon is gyönyörűen be lehet mutatni az optikai jelenségeket, de sokkal több fáradsággal és eszközzel, mint a lézer segítségével.

Mi a lézer előnyeit akartuk kihasználni az eszközök egyszerűsítésére. Minthogy a keskeny és intenzív nyaláb mindig megmutatja a pillanatnyi beállítást, ezért elhagyható az optikai pad, és a mechanikus finomállítók helyett elegendő az emberi kéz. A kis nyalábátmérő miatt általában nem kellene jóminőségű optikai felületek -- megfelel pl. a közönséges tükör is. A nagy koherencia miatt pedig nincs szükség segédresekre, diafragmákra, szűrőkre stb. az interferencia és elhajlási jelenségek egyszerű eszközökkel is intenzívek, jól láthatók.

Az általunk kidolgozott eszközkészlet egy kb. 45 cm x 35 cm x 20 cm-es fadobozban elfér. A geometriai optika, illetve a fizikai optika alapvető jelenségeinek bemutatására szolgál, de lehetőséget nyújt egyszerűbb mérésekre is. A doboz tartalmát a 3. és 4. Táblázatban adtuk meg.

3. Táblázat

Optikai demonstrációs eszközkészlet

1/ Felső tárolólapon:

- 3 db lencse ($f = 40$ cm, $f = 10$ cm, $f = 3$ cm)
- 4 db diatartó állvány
- 2 db szár-közdarab
- 1 db A alaplemez
- 4 db A talp
- 20 db diakeret (lásd 4. Táblázat)
- 1 db fényvezető szálköteg

2/ Középen:

- Hartl korongos füstdoboz
(korong $\varnothing 24$ cm, doboz: $38 \times 27 \times 6$ cm)

3/ Alsó tárolólapon:

- Optikai testek a Hartl-koronghoz
plexi: félhenger, II lemez, 60° -os prizma, 90° -os prizma, domború lencse, homorú lencse, levegőlencse (2 elem)
- A : síktükör, homorú-domború tükör
- Összerakható nyalábterelő és osztó
- Hármás nyalábosztó

4. Táblázat

Diakeretekbe foglalt elemek

- 1/ Köralakú nyílások
- 2/ Köralakú tácsák
- 3/ Köralakú lyukpárok

- 11/ Fresnel zónalemez
- 12/ Üveglemez
- 13/ szimmetriájú ábra

4/ Rések	14/ 30 % tükör
5/ Sávok	15/ 50 % tükör
6/ Réspárok	16/ 100 % tükör
7/ Ötösrések	17/ 100 % tükör
8/ Optikai rács	18/ 100 % tükör
9/ Keresztrács	19/ Fresnel biprizma
10/ szimmetriájú rácsozat	20/ Hengerlencse

Geometriai optikai alapjelenségek

Itt arra törekedtünk, hogy a kísérletek egyszerű eszközökkel, könnyen összeállíthatók, ugyanakkor a jelenségek minél jobban láthatók legyenek.

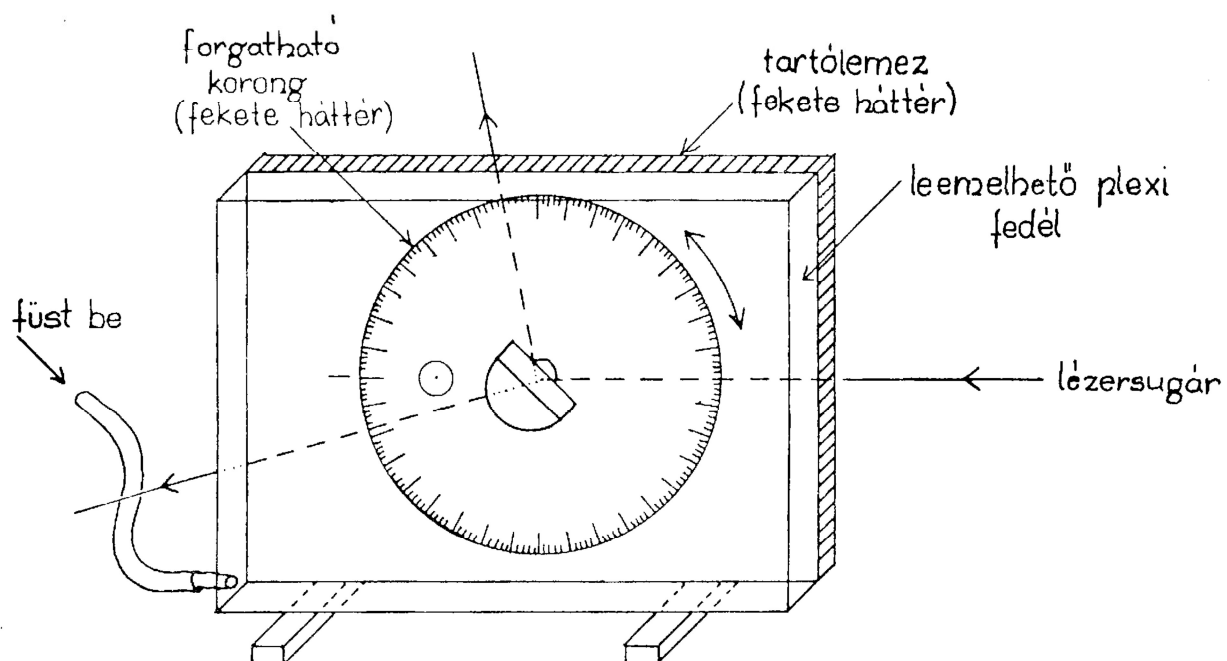
Az alapeszköz egy nagyméretű (átmérő 24 cm) 1^0 osztású, függőleges helyzetű Hartl-korong, mely hátulról vízszintes tengelye körül körbeforgatható. Elölről a korong és tartólemez átlátszó (plexi) fedővel borítható be, s az így kialakuló zárt térbe egy gumicsövön keresztül cigarettafüst fújható be, mely órákon át megmarad, s a fényszórás segítségével jól láthatóvá teszi a fénysugarak útját. A plexiből készült törő-testek, illetve az Al-ból készített tükörtestek csere-szabatosan helyezhetők be a korong középpontjába vagy egyik szélére (1. ábra).

A készletből összeállítható külső nyalábterelő, illetve nyalábosztó segítségével egyetlen, illetve három sugár vezethető rá a mintatestekre (2. ábra). a képalkotási alapkísérletekben e három sugár metszheti is egymást. A plexi dobozfedélre fóliát felerősítve felrajzolható a sugármenet, az optikai testek kontúrja, a beesési merőleges stb., s így kvantitatív mérések is végezhetők.

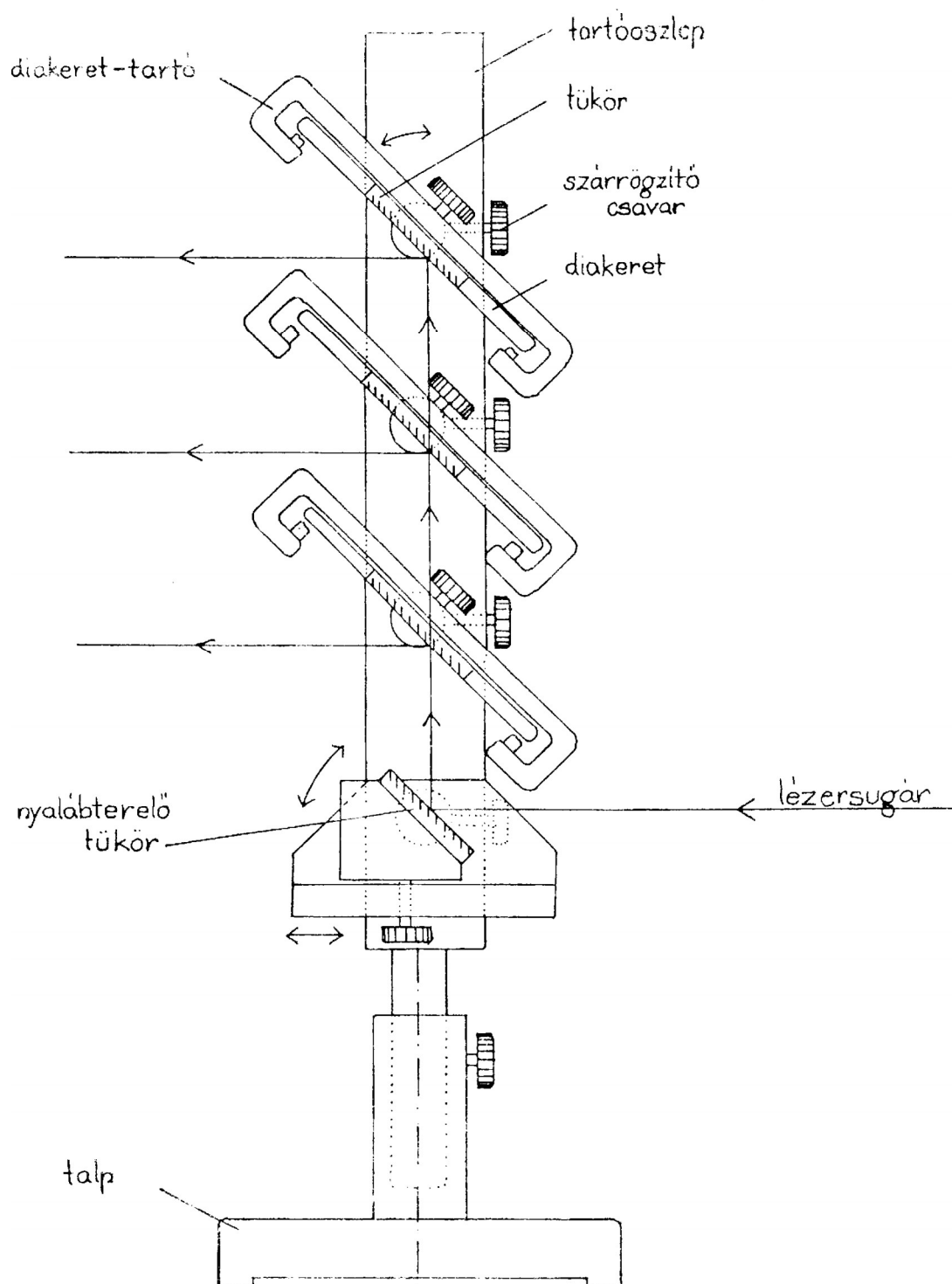
Az előadás során példaként bemutattuk a következő kísérleteket:

- a fénytörés alaptörvényei (törésmutató, totálreflexió)
plexi félhengeres optikai testtel;

- homorú tükör fő sugarai és képalkotási törvénye
Al-fémtestekkel; valamint
- homorú levegőlencse fókuszáló sugármenete.



1. ábra Hartl-korongos füstdoboz. Az ábrán a fénytörés demonstrációja látható



2. ábra A háromsugaras nyalábosztó felépítése. A nyalábosztó tükrök reflexiója rendre kb. 30 %, 50 %, 100 %. Ha csak egy sugárra van szükség, akkor az első és harmadik diakeret tartó hiányzik, s a középsőbe kerül a 100 %-os tükör.

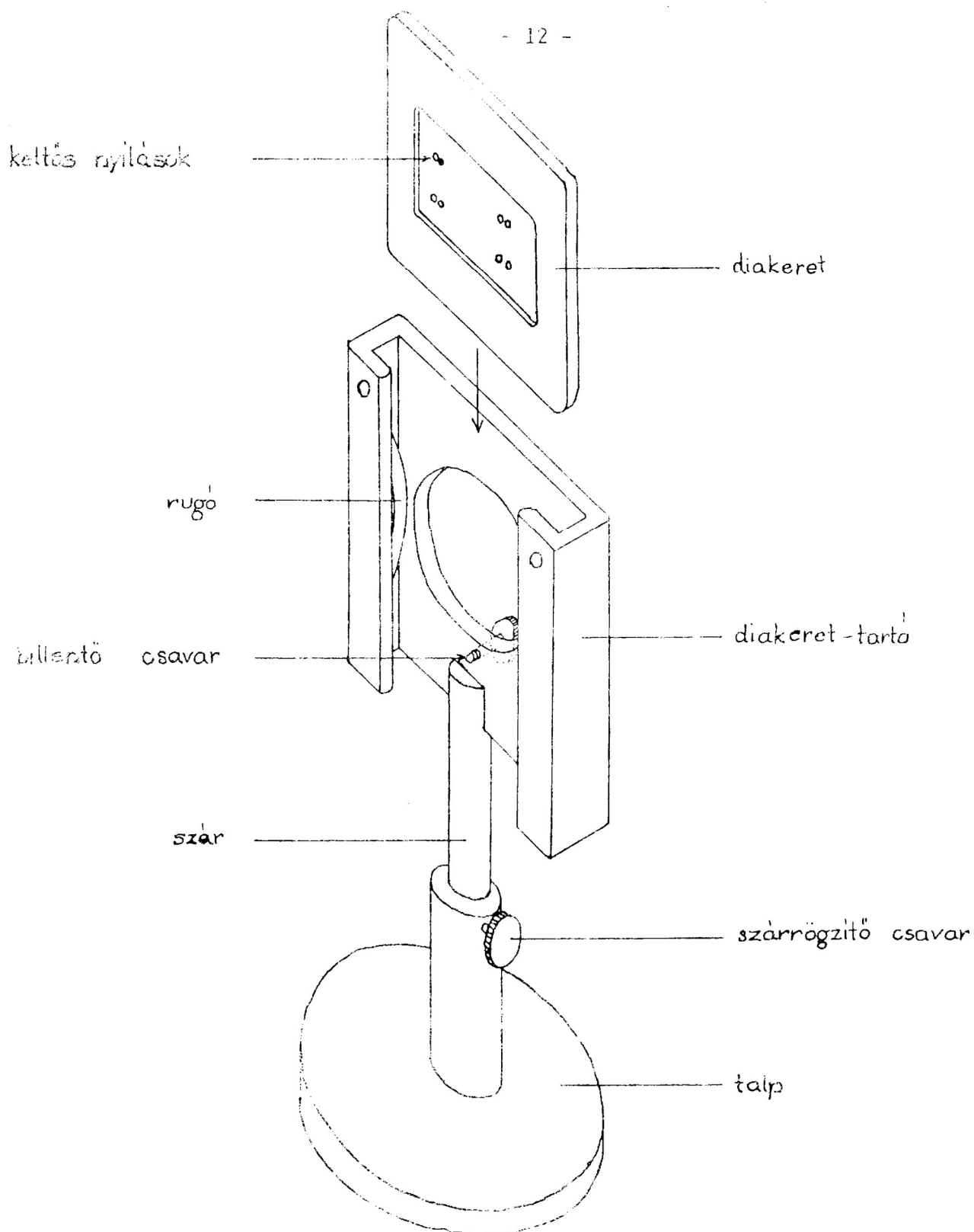
A fizikai optika alapjelenségei

Itt is egyszerűsége törekedtünk: a rések, nyílások stb. fotografikus technikával (rajzolt ábráról fényképezve) készültek, az optikai felületek egyszerű üveglemezek. Kivétel a Fresnel biprizma, mely optikailag polírozott, az optikai rácás, mely készen kapható és a részben áteresztő tükrök, melyek bevonata dielektrikus rétegrendszer. A nyaláb-módosító elemek beállítása az asztalon, egyszerű tologatással oldható meg, semmilyen precíziós állítóelemre nincs szükség. (Kivétel a Michelson interferométer, ahol a tükrök függőleges tengely körül forgatása még kézzel megoldható, de a vízszintes tengely körüli billentéshez a diatartóba egy kis csavart kellett beépíteni, (3. ábra) továbbá ugyanitt az elhelyezés megkönnyítése és a stabilitás növelése érdekében a tartóelemeket egy közös A -alplemezen helyeztük el.)

A diakeretekben lévő nyalábmódosító eszközök -- a kiegészítő többcélú optikai és mechanikai elemekkel együtt -- lehetővé teszik a **fényinterferencia** és **fényelhajlás** alapjelenségeinek kvalitatív bemutatását és egyszerűbb kvantitatív mérések elvégzését (pl. nyílásméretetek, hullámhossz, rácásállandó stb. meghatározását). A fotografikus technika speciális előnye, hogy a nyílások mellett azok negatívjai is (környílás-tárcsa, rés-sáv) könnyen elkészíthetők.

Az előadásban bemutatásra kerültek a következő kísérletek:

- Fényinterferencia Fresnel biprizmával
(ékszög-meghatározás, átfedési tartományban csíkok, intenzitáseloszlás szerepe)



3. ábra A diakeret-tartóállvány felépítése. A diakeret felülől az állványba csúsztatható. A billentő csavarnak a Michelson interfero- méter beállításánál van szerepe. Az ábrán a diakeretben a Young-féle kettős környílások láthatók.

- Fényelhajlás környílánson (átmérőfüggés)
- Fényinterferencia kettős környílánson -- Young-interferométer
(geometriafüggés, hullámhossz-meghatározás, kontraszt és a lézer-koherencia kapcsolata)
- Michelson interferométer (gyűrűs interferencia kép bemutatása lencsével divergenssé tett (gömbhullám) nyalábbal, egyenlő karhossznál; csíkokból álló interferencia különböző karhosszaknál (10-20 cm úthosszkülönbség), kapcsolat a lézerkoherenciával.

A készlet természetesen más kísérleteket is lehetővé tesz (pl. a Fresnel-féle elhajlási jelenségek, az interferenciakép és az elhajlító elemek szimmetriája közötti kapcsolat, további interferencia-jelenségek pl. Newton-gyűrűk bemutatása stb.).

Végül megjegyezzük, hogy az eszközkészletet nem tekintjük befejezettnek. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy valamivel több variálható elemre lenne szükség (pl. még egy lencsére + tartóelemre), kisebb kiegészítésekkel pedig újabb jelenségköröket is be lehetne mutatni (pl. holográfia).

